



Nouvelle méthode de reconstruction de volumes de particules 3D basée sur les processus ponctuels marques : Application à la TOMO-PIV en mécanique de fluide

Riadh Ben-Salah, Olivier Alata, Benoit Tremblais, Lionel Thomas, Laurent
David

► To cite this version:

Riadh Ben-Salah, Olivier Alata, Benoit Tremblais, Lionel Thomas, Laurent David. Nouvelle méthode de reconstruction de volumes de particules 3D basée sur les processus ponctuels marques : Application à la TOMO-PIV en mécanique de fluide. Workshop XLIM 2013, Sep 2013, Limoges, France. hal-00913346

HAL Id: hal-00913346

<https://hal.science/hal-00913346>

Submitted on 3 Dec 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

NOUVELLE METHODE DE RECONSTRUCTION DE VOLUMES DE PARTICULES 3D BASEE SUR LES PROCESSUS PONCTUELS MARQUES : APPLICATION A LA TOMO-PIV EN MECANIQUE DE FLUIDE

R. Ben Salah^{1,2}, O. Alata³, B. Tremblais², L. Thomas¹, L. David¹

¹ Institut Pprime – Département D2 – UPR CNRS 3346

² Département XLIM-SIC – UMR CNRS 7252

³ Laboratoire Hubert Curien – UMR CNRS 5516

Résumé. Cet article représente un résumé des différents travaux effectués jusqu'à maintenant dans le cadre de ma thèse dans le département SIC du laboratoire XLIM et le département d2 (Fluide, Thermique, Combustion) du laboratoire P' de Poitiers sur les méthodes de reconstruction de volumes de particules 3d appliquées à la tomographie de vélocimétrie par image de particule (Tomo-PIV). Ces travaux s'inscrivent dans le cadre d'un projet européen intitulé AFDAR (Advanced Flow Diagnostics for Aeronautical Research project no. 265695). L'objectif de la thèse est de proposer une nouvelle technique de mesure tridimensionnelle de vitesse en mécanique des fluides par Tomo-PIV et de l'appliquer sur une étude expérimentale de la dissipation d'énergie turbulente derrière une grille.

reposent sur l'utilisation de méthodes algébriques de tomographie (ART, MART, SMART, MLOS...).

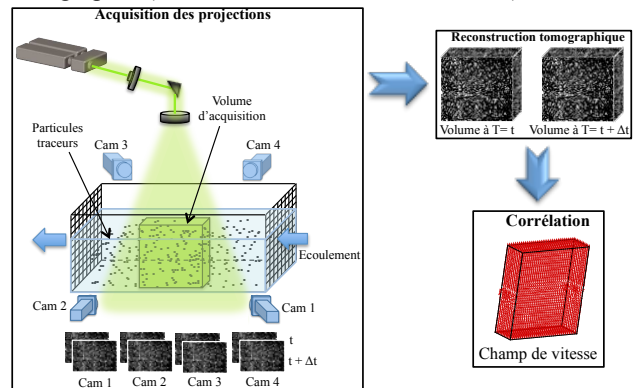


Figure 1: Principe de la Tomo-PIV

I. INTRODUCTION

En 1914, le radiologue Karol Mayer a proposé le principe d'une technique nommée Tomographie. Les techniques tomographiques consistent à sonder la matière avec un type de rayonnement. Les rayonnements émergents vont jouer le rôle d'une sonde pour effectuer des mesures et fournir une analyse de la matière explorée. Grâce à des calculs de reconstruction, elle fournit une cartographie du paramètre caractéristique du rayonnement étudié [1]. Depuis quelques années, la mécanique des fluides expérimentale s'est dotée d'une nouvelle méthode de mesure non-intrusive, qui permet d'acquérir des champs instantanés de vitesses. Cette méthode est la Vélocimétrie par Image de Particules (PIV). La PIV a pour origine la visualisation d'écoulements (flow visualisation) afin d'évaluer la vitesse ou d'avoir une idée sur les caractéristiques turbulentes d'un écoulement [2]. Récemment une nouvelle approche, appelée tomographie PIV (Tomo-PIV) fondée sur les systèmes tomographiques et la PIV, et étendue aux volumes, a été proposée. Elle permet la mesure instantanée des trois composantes de la vitesse dans un volume de mesure complet 3D. La PIV tomographique est basée sur le principe de la reconstruction tomographique en volume. Le principe de la Tomo-PIV consiste à ajouter des particules dans l'écoulement d'intérêt et à éclairer une portion du volume de l'écoulement par une source laser. La lumière diffusée par les particules est capturée par plusieurs caméras numériques de hautes résolutions suivant des angles d'observation différents. L'ensemble de projections de chaque caméra est fourni à un algorithme de reconstruction 3D. La plupart des solutions proposées

II. POSITION DU PROBLÈME

Les techniques de reconstruction tomographique proposées à ce jour ne prennent pas en compte la forme particulière des objets à reconstruire. En plus, la forte densité des particules dans les images, le bruit et les vibrations inhérentes aux installations expérimentales sont des éléments défavorables à une reconstruction de grande qualité. Vu la taille des données, le temps de traitement de ces méthodes et l'espace mémoire utilisé sont très élevés. Afin de résoudre ces problèmes, une solution se basant sur la parcimonie des volumes de particules à reconstruire pourrait être envisagée. Dans ce contexte, une méthode de reconstruction de volume de particules 3d basée sur les approches par processus "objet" tels que des processus ponctuels marqués semblent particulièrement bien adaptées à ces problèmes.

III. PROCESSUS PONCTUEL MARQUE

Un processus ponctuel marqué [3] [4] est un processus aléatoire dont les réalisations sont des configurations aléatoires d'objets. Chaque objet y est modélisé par un point (sa position), ainsi que par des marques (sa dimension, son orientation, sa forme, etc.) qui correspondent à ses propriétés. Ces processus fournissent donc une représentation naturellement parcimonieuse d'une configuration d'objets d'intérêt, présents dans une image. Ils permettent en effet de se détacher du modèle numérique induit par l'image, pour mieux se rapprocher du modèle physique.

IV. APPROCHE PROPOSEE

L'idée de cet algorithme consiste à reconstruire un volume de particules 3d en se basant sur l'énergie présente dans les projections acquises. Contrairement aux méthodes de reconstruction tomographique classiques, cette méthode part à partir d'un volume 3d inconnu, qui représente ici la population des particules 3d. Cette population sera obtenue à l'aide d'un algorithme de type Monte-Carlo par chaîne de Markov (MCMC) exploitant une dynamique de Metropolis-Hasting-Green: à chaque itération, il peut être envisagé un mouvement de naissance, de mort ou de déplacement d'une particule. Cette dynamique permet de simuler une densité de probabilité de type distribution de Gibbs dont l'énergie est composée de la somme d'une énergie d'attache aux données et d'une énergie dite "interne". Cette énergie permet de contraindre le comportement du processus d'une part en fonction de l'information que l'on cherche dans les données et d'autre part en fonction des interactions susceptibles d'apparaître entre les particules.

V. TERME D'ATTACHE AUX DONNÉES

Le terme d'attache aux données a été développé à partir de l'erreur quadratique moyenne obtenue entre la projection d'une population et les images acquises. Il doit permettre d'obtenir une population de particules cohérentes par rapport aux données acquises. Ce terme permettra au processus de converger vers la population la plus proche de la réalité. Il se base sur l'énergie provenant du voisinage des particules 2d sur chaque projection générée par le processus et la corrélation entre une particule 2d et ce qui lui correspond dans les projections réelles.

La formule du terme d'attache aux données pour une particule est la suivante :

$$U_d(\xi) = \phi_{d,1}(\xi) + \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{\xi_j, \xi_j \sim \xi \\ \xi \rightarrow s}} \phi_{d,2}(\xi)$$

Avec,

$$\phi_{d,1}(\xi) = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{s \in I_i \\ \xi \rightarrow s}} r_{\xi \rightarrow s} (r_{\xi \rightarrow s} - 2o_{i,s})$$

Ce terme correspond au potentiel associé à une particule 3d (ξ). I_i correspond à une projection (réelles), n correspond au nombre de projections, s correspond à un site (pixel) sur cette projection. $\xi \rightarrow s$ signifie que la projetée de la particule 3d ξ contient le site s . $r_{\xi \rightarrow s}$ est la valeur projetée en s par la particule ξ . $o_{i,s}$ correspond à la valeur observée au site s de la projection I_i . La deuxième partie du terme d'attache aux données $U_d(\xi)$ correspond à l'information apportée par le voisinage d'une particule. Le terme $\phi_{d,2}(\xi)$ s'écrit sous la forme suivante :

$$\phi_{d,2}(\xi) = \sum_{\substack{s \in I_i \\ \xi \rightarrow s, \xi_j \rightarrow s}} 2r_{\xi \rightarrow s} r_{\xi_j \rightarrow s}$$

VI. QUELQUES RÉSULTATS

Les simulations ont été appliquées sur 4 projections simulées. Les images utilisées, de taille 20 x 20 pixels et le volume de particules de référence, de taille 20 x 20 x 15 voxels, ont été générés avec un programme développé au sein du laboratoire P'-d2. Les images et le volume contiennent 30 particules de forme gaussiennes isotropes et de diamètre 3 pixels. L'intensité centrale de toute les particules est la même. Le modèle de caméra utilisé est le modèle Pinhole. Les simulations ont été réalisées avec et sans terme d'attache aux données. La figure-2 montre l'évolution de l'erreur quadratique moyenne (EQM) par rapport au nombre de mouvements acceptés avec et sans attache aux données.

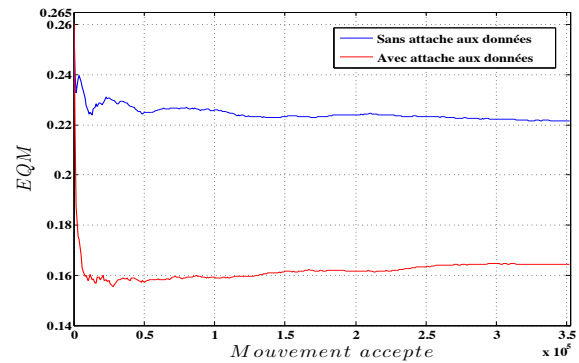


Figure 2: Evolution de l'EQM par rapport au nombre de mouvements acceptés

On peut remarquer que le terme d'attache aux données a permis de minimiser l'EQM entre la population simulée et la population générée par l'algorithme.

VII. CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Les courbes obtenues nous ont montré l'efficacité du terme d'attache aux données avec les paramètres utilisés. Nous étudierons par la suite l'influence des différents paramètres du processus. Puis, nous validerons notre approche sur des données réelles. Enfin, une étude comparative avec les méthodes de reconstruction précédemment proposées en Tomo PIV sera réalisée. Ces travaux ont été financés par AFDAR et l'ANR VIVE3D. Leur support est vivement remercié.

REFERENCES

- [1] P. C. Seynaeve and J. I. Broos. "The history of tomography", J Belge Radiol 78:284-288, Medline. 1995.
- [2] M. Raffel, C. Willert and J. Kompenhans, "Particle Image Velocimetry, a practical guide". Ed. Springer Verlag, 1998.
- [3] C. J. Geyer and J. Moller. "Simulation and likelihood inference for spatial point processes". Scandinavian Journal of Statistics series B, 21:359-373. 1994.
- [4] D. J. Daley, and D. Vere-Jones. "An Introduction to the Theory of Point Processes". Springer Verlag, 2002.